

Таким образом, разработка и внедрение автоматизированной установки для нанесения защитных металлопокрытий нового типа позволит организовать производственный процесс с высокой производительностью на предприятиях-производителях электрооборудования, а также снизить потери электроэнергии и повысить надежность электроснабжения как в масштабах региона, так и в масштабах России.

УДК 662.76

Федорова Ю. С., Кузнецова Ю. А., Абаимов Н. А.
Уральский федеральный университет,
tes.urfu@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОТОЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

На сегодняшний день уголь является наиболее дешевым и доступным углеводородным топливом на Земле. Однако низкая эффективность традиционных угольных электростанций с паросиловым циклом и их несоответствие ужесточающимся экологическим требованиям препятствуют быстрому переходу мировой энергетики на сжигание твердого топлива. По оценкам Министерства энергетики США, наиболее перспективной технологией использования твердого углеродосодержащего топлива является парогазовая установка с внутрицикловой газификацией (ПГУ-ВЦГ) [1].

Ключевым элементом высокомоощных ПГУ-ВЦГ является газификатор [2]. В энергетике используют газификаторы с неподвижным слоем, с кипящим слоем и поточные газификаторы. Именно поточные газификаторы наиболее часто используют в современных ПГУ-ВЦГ благодаря их высокой эффективности и производительности [3].

Поточная газификация включает в себя ряд сложных физических и химических процессов, экспериментально исследовать которые очень трудно и дорого. Поэтому для решения задач по визуализации, управлению и оптимизации поточной газификации всё чаще прибегают к методу вычислительной гидродинамики (CFD). CFD-моделирование позволяет определять все основные параметры работы газификаторов: состав и температуру получаемого синтез-газа, степень конверсии углерода, а также структуру и свойства потоков внутри самого газификатора. Тем не менее до сих пор не существует универсальных моделей поточной газификации, которые одинаково адекватно описывали бы работу поточных газификаторов с разной геометрией, топливом и рабочими параметрами [4]. В данной работе будут обсуждаться и сравниваться между собой основные современные физические и химические модели, используемые при моделировании современных поточных газификаторов.

Под физическими моделями здесь имеются в виду модели турбулентных течений. Данным вопросом применительно именно к поточной газификации

занимались в работе [5]. В ней – помимо описания моделей и процесса моделирования представлено сравнение результатов моделирования, полученных с использованием двух наиболее широко распространенных моделей: уравнения Навье-Стокса, осредненного по Рейнольдсу (RANS), и модели крупных вихрей (LES). В результате верификации и сравнения полученных результатов авторы приходят к выводу, что модели RANS и LES дают ощутимо различные значения, касающиеся смешивания, горения и газификации. При сопоставлении данных моделирования с экспериментальными значениями оказалось, что RANS-модель предсказывает более короткую зону горения, чем на самом деле, а LES – более длинную. Модель RANS оказалась наиболее адекватна в приосевой области газификатора, но в зоне газификации ее результаты далеки от эксперимента в отличие от LES-модели, которая показывает лучшую сходимость как по радиальной координате, так и в области газификации. Основным вывод данной работы заключается в том, что LES-модель адекватна в большинстве случаев, хотя при определенных условиях RANS является точнее. Однако для практического применения LES-модель все еще остается слишком требовательной к вычислительным мощностям, поэтому большинство исследователей старается максимально эффективно и с наименьшими неточностями использовать RANS-модель.

Основными химическими процессами поточной газификации можно считать пиролиз и горение коксового остатка. Тщательный анализ подмоделей этих процессов был проведен в работах [6] и [7] соответственно. Под пиролизом авторы понимали термическое разложение исходной молекулярной структуры угля при определенной температуре. При этом образуются газы, смолы и кокс. В работе рассматривались две группы моделей:

1) эмпирические:

а) модель одноступенчатой реакции первого порядка (SFOM);

б) конкурирующая двухступенчатая модель (C2SM);

в) модель распределенной энергии активации (DAEM)) и

2) математические:

а) химическая фильтрация летучих веществ (CPD);

б) функциональная группа – деполимеризация, испарение, образование поперечных связей (FG-DVC);

3) теория быстрого выхода летучих (FLASHCHAIN).

В результате верификации наиболее адекватными моделями оказались из эмпирических C2SM, а из математических CPD.

Горение коксового остатка изучалось в работе [7]. В ней оно рассматривалось как сложный процесс, включающий в себя несколько физических и химических явлений:

1) диффузию газов к внешней поверхности частицы;

2) диффузию газов внутри пористой структуры частицы;

3) гетерогенные реакции, в т. ч. поверхностное поглощение, реакции на поверхности и удаление вещества с поверхности;

4) изменение внутренней поверхности частицы;

5) термический отжиг.

Особо подчеркивается, что для адекватного моделирования всего процесса горения кокса необходимо учитывать каждую из этих стадий и их взаимодействие. Тем не менее многие исследователи используют упрощенные модели, не учитывающие изменение поверхности пор и внутреннюю диффузию. Авторы предложили воспользоваться современными версиями модели кинетики выгорания кокса (СВК) для окисления (СВК/Е) и для газификации (СВК/Г). После соответствующей калибровки данные модели показали хорошую сходимость с экспериментальными данными.

В заключение следует еще раз отметить, что универсальных моделей не существует. Даже самые подробные модели, которые были описаны выше, имеют свою область применения. При этом для калибровки всех моделей необходимо использовать экспериментальные данные.

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00524).

Список литературы

1. Tennant J. B. Overview of DOE's gasification program, 2010 [Электронный ресурс]. URL: http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/10/gfe/Jenny%20Tennant2_Gasification.pdf (дата обращения: 21.11.2014).
2. О предпроектной проработке гибридной угольной ПГУ с воздухонагревателем / С. И. Гордеев [и др.] // Электрические станции. 2012. № 10. С. 17–21.
3. Разработка низкотемпературных реакторов термохимической конверсии для угольной энергетики / А.Ф. Рыжков [и др.] // Теплоэнергетика. 2013. № 12. С. 47–55.
4. Ma J., Zitney S. E. Computational Fluid Dynamic Modeling of Entrained-Flow Gasifiers with Improved Physical and Chemical Submodels // Energy Fuels. 2012. № 26. P. 7195–7219.
5. Abani N., Ghoniem A. F. Large eddy simulations of coal gasification in an entrained flow gasifier // Fuel. 2013. № 104. P. 664–680.
6. Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 1 : Pyrolysis / M. Vascellari [и др.] // Fuel. 2013. № 113. P. 654–669.
7. Vascellari M., Arora R., Hasse C. Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 2 : Char conversion // Fuel. 2014. № 118. P. 369–384.

УДК 536.65

Хайруллин И. А., Матвеев С. В., Картавец С. В.
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
hairullin-ildar@mail.ru

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ГОРЯЧЕКАТАННОГО ЛИСТА В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В настоящее время трудно представить жизнь человека без использования стальных изделий. Так в 2013 году в Российской Федерации производство сырой стали достигло 69,4 млн т в год [1]. Почти 90 % из этого стальной прокат. Для его производства в теплотехнологии горячей прокатки необходимо около 1,2 т у. т. [2]. При этом порядка 12 кг у. т. с каждой тонны стали отво-